



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

## TŘEBAŘOVSKÝ POTOK. POSOUZENÍ DROBNÉHO VODNÍHO TOKU

THE TŘEBAŘOVSKÝ CREEK. ASSESSMENT OF SMALL SCALE RIVER.

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Karolína Pikhartová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ JULÍNEK, Ph.D.

BRNO 2017



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	B3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
PRACOVISŤE	Ústav vodních staveb

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

STUDENT	Karolína Pikhartová
NÁZEV	Třebašovský potok. Posouzení drobného vodního toku
VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	Ing. Tomáš Julínek, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	30. 11. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

.....  
prof. Ing. Jan Šulc, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Úprava tokov, Raplík, M., Výbora, P., Mareš, K., Alfa, Praha, 1989.

Jezy, Gabriel a kol., SNTL, Praha, 1989.

Vodní stavby I, Maleňák, J., Podsedník, O., Šlezinger, M., VUT Brno, 2002.

Vegetační doprovod vodních toků a nádrží, Šlezinger, M., VUT Brno, 1996.

Hydraulika a hydrologie, Jandora, J., Stara, V., Starý, M., VUT Brno, 2002.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Práce řeší hodnocení drobného vodního toku, Třebašovského potoka. Hodnocení se bude zaměřovat na kapacitu koryta a stávajících objektů, rozsah rozlivu, stabilitu koryta a možnosti údržby z dlouhodobého pohledu. Obsahem práce bude jednak řešeršní část shrnující obecné zásady zásahů do přirozených koryt při respektování jejich přírodní funkce a hydrauliky proudění. Na základě řešerše bude provedena volba hodnotících kritérií a postupu hodnocení. Část návrhová bude obsahovat návrh úpravy resp. zásahů do toku tak, aby byla zajištěna jak stabilita koryta, tak i požadovaná kapacita vodního toku. Úprava a na ni navazující opatření budou zahrnovat další funkce jako je omezení zanášení, začlenění upraveného koryta do okolního prostředí a do krajiny (návrh břehových a doprovodných porostů), apod. Hodnocení bude přihlížet i k tomu, aby provozní složky správce toku měly možnost upravený průtočný profil udržovat a čistit strojně.

Práce se bude skládat z textové části (teoretický popis problematiky, popis zájmové lokality, hydrotechnické výpočty, atd.) a z části výkresové (situace, řezy, apod.)

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

Ing. Tomáš Julínek, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

## ABSTRAKT

Předmětem práce je zhodnocení stávajícího stavu drobného toku Třebašovský potok v intravilánu obce. Zájmový úsek je na km 0,000 až 4,320. Posouzení obsahuje kapacitu toku a stabilitu dna. Zhodnocení bylo pomocí charakteristickou řadou průtoků. Na základě výsledků stávajícího stavu byl vypracován návrh na zvýšení kapacity.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Úprava toku, stabilita, kapacita toku, metoda po úsecích, přírodě blízká opatření

## ABSTRACT

The objective of this thesis is to assess current condition of the small river Třebašovský potok situated in partly urbanized area. The reach of interest is in km 0,000 to 4,320. Assessment involved evaluation of the channel capacity and stability of the river bed. Assessment was realized by solving the flow characteristics for series of discharges. Based on the results of the current conditions the proposal of the river training and other remediation measures was done.

## KEYWORDS

Flow adjustment, stability, capacity of the river, method by sections, nature-friendly measures

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Karolína Pikhartová *Třebařovský potok. Posouzení drobného vodního toku*. Brno, 2016. 49 s., 62 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Tomáš Julínek, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 6. 12. 2016

---

Karolína Pikhartová  
autor práce

# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 6. 12. 2016

---

Karolína Pikhartová  
autor práce

**Poděkování:**

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Tomáši Julínkovi. Dále bych chtěla poděkovat své rodině, příteli a lidem, kteří mě podporovali po celou dobu mého studia.



## OBSAH:

1. Úvod.....	11
2. Cíle bakalářské práce.....	12
3. Rešeršní část.....	13
3.1. Úprava toku.....	13
3.1.1. Účel úpravy toku.....	13
3.1.2. Dvě koncepce úpravy toku.....	13
3.1.3. Přírodě blízká opatření.....	14
3.1.4. Návrh úpravy toku.....	16
3.2. Kapacita koryta.....	17
3.2.1. Návrhový průtok.....	17
3.2.2. Návrh trasy.....	18
3.2.3. Návrh podélného sklonu dna koryta a hloubky koryta.....	18
3.2.4. Návrh příčného profilu.....	19
3.3. Metoda po úsecích.....	20
3.4. Stabilita dna koryta.....	22
3.4.1. Odolnost dna koryta.....	22
3.4.2. Stabilita pomocí tečného napětí.....	23
4. Popis zájmové lokality.....	25
4.1. Správní údaje.....	25
4.2. Hydrologická data.....	25
4.3. Údaje o povodí.....	26
4.4. Geologické a pedologické poměry.....	26
4.5. Sklonitostní poměry.....	27
4.6. Údaje o zemědělství, průmyslu, odběru, rekreaci a splavnosti.....	28
4.7. Hodnocené úseky toku.....	29
5. Řešení.....	33
5.1. Modelový výpočet.....	33
5.2. Zhodnocení kapacity.....	34
5.3. Zhodnocení stability.....	38
6. Zhodnocení a návrh na zkapacitnění a úpravu toku.....	40
6.1. Celkové zhodnocení.....	40
6.2. Návrh zkapacitnění a úpravy toku.....	41
7. Závěr.....	43
8. Zdroje informací.....	44
8.1. Použitá literatura.....	44
8.2. Internetové zdroje.....	44
9. Seznam použitých zkratk a symbolů.....	45

9.1. Použité zkratky.....	45
9.2. Použité symboly.....	45
10. Seznam obrázků.....	47
11. Seznam tabulek.....	48
12. Seznam Příloh.....	49

# 1. Úvod

Třebašovský potok se nachází v intravilánu obce Třešov. Pramení ve výšce cca 580 m n. m. u obce Petřov v okrese Svitavy. Těsně před obcí ústí Třešovský potok do rybníku Třešov, ze kterého pak pokračuje dál přes obec, resp. obec je situována podél tohoto toku. Potok ústí do řeky Moravská Sázava.

Větší část v intravilánu je po úpravě koryta a největším problémem u tohoto potoka je jeho zanášení a hrozba povodní z důvodu nedostatečné kapacity toku v jeho neupravovaných částech. K poslednímu velkému zanášení došlo v roce 2013 při povodni, kdy se do potoka dostalo velké množství půdy vlivem velkých dešťů. Po této povodni bylo provedeno částečné odtěžení nánosů z potoka. V dnešní době je ve vegetačním období potok zarostlý vysokou trávou a snižuje tak průtočný profil, což může vést při lokálních deštích k povodním.

K zanášení docházelo také vypouštěním odpadních vod z kanalizační sítě. V roce 2017 byla vystavěna čistírna odpadních vod, tudíž OV se již do potoka nevypouští.

Součástí Třešovského potoka je akvadukt, který převádí vodu Třešovského potoka nad odpadním kanálem starého mlýna, který byl v roce 1912 přestavěn na vodní elektrárnu, která v současné době není v provozu a kanál je zaslepen. Tento akvadukt je postaven z pískovcových kvádrů a jedná se o technickou památku. Bohužel ale nemá majitele, tudíž zatím nebyl od roku 1840, kdy byl vystavěn, rekonstruován.

## **2. Cíle bakalářské práce**

Cílem bakalářské práce je hodnocení drobného vodního toku, Třebašovského potoka. Hodnocení zejména stávající kapacity koryta a stávajících objektů, stabilitu koryta a hodnocení zanášení koryta. Práce obsahuje řešeršní část, která shrnuje obecné zásady a výpočty. Dále práce obsahuje zhodnocení stávajícího stavu a následné úpravy vedoucí ke zvýšení kapacity, nebo zlepšení odtokových podmínek. Práce obsahuje přílohy, ve kterých budou výpočty a výkresy zejména stávajícího stavu.

### 3. Rešeršní část

#### 3.1. Úprava toku

Zásadou uceleného řešení úpravy toku je realizace současně nebo aspoň v návaznosti na ostatní zásahy v povodí, ve kterých je výsledkem uspořádání odtokových poměrů, to znamená zvýšení retenčního účinku půdy, zpomalení a vyrovnaní odtoku vody z povodí a snížení erozního účinku vody [1].

Úprava toku, zejména změna průtokového profilu přirozeného koryta, bývá významným technickým zásahem v říční nivě, a proto by se k ní mělo přistupovat rozvážně [1].

Možné vlivy zásahu musejí být vždy posouzeny z hlediska komplexních účinků na vodní tok i krajinu. Proto je bezpodmínečně nutné kromě podrobných technických podkladů a požadavků shromáždit také podrobné požadavky a podklady geoekologické (biotopy podél toku, koncepce rozptýlené zeleně, agronomie okolí toku apod.). Na koncepčním řešení zásahu musí aktivně spolupracovat technici - vodohospodáři s ekology i biology [2].

Výsledný navržený zásah pak musí nejen stabilizovat vodní tok mechanicky, ale také jej do krajiny esteticky začlenit a tím posílit její ekologickou stabilitu. Samozřejmě musí splnit i příslušné ochranné a užitkové požadavky, které jej vyvolaly. Splnění všech uvedených požadavků bývá často složité, zpočátku se často jeví jako téměř nemožné - potom je nutno volit optimální kompromis [2].

##### 3.1.1. Účel úpravy toku

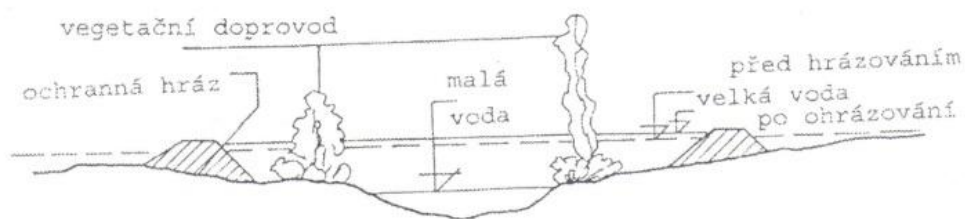
Důvodem úpravy toku je zabránit škodám, které vodní tok - převážně při povodních - způsobuje na pozemcích, stavebách a majetku občanů, nebo abychom mohli vodní tok a případný přilehlý prostor lépe využívat (pro výrobu energie, plavbu, odběr vody, změnu úrovně hladiny podzemní vody, získání prostoru pro zástavbu či vedení komunikace) [2].

Úprava toku by měla zohledňovat nejen kapacitu, ale i přirozené členění koryta (členění jejich tvarů a členitost proudění vody.) Nepřiměřený rozsah úpravy potoků a řek na zkapacitnění přispívají k tomu, že za běžných nízkých stavů z krajiny rychleji a ve větší míře odtéká voda, což může nepříznivě podporovat dopady sucha [4].

##### 3.1.2. Dvě koncepce řešení úpravy toku

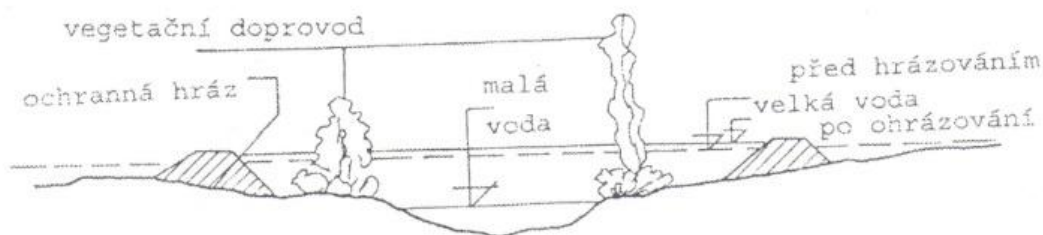
Základní požadavek každé úpravy toku (ochrana proti negativním účinkům velkých vod) je možno řešit dvěma extrémními postupy:

- a) výstavbou ochranných hrází podél vodního toku (omezením inundačního prostoru toku) bez technických zásahů do stávajícího koryta řeky



Obr. 1: Úprava toku ohrázováním [2]

- b) bez ochranných hrází, zvětšením současného průtočného průřezu koryta a změnou podélného sklonu dna a trasy toku [2]



Obr. 2: Úprava toku zvětšení koryta [2]

### 3.1.3. Přírodě blízká protipovodňová opatření

Pro protipovodňovou ochranu se využívají zejména technické opatření. Protipovodňová opatření by však měla představovat systém, který efektivně zajišťuje ochranu sídel a současně přispívá k příznivému ekologickému stavu vodních toků a niv. Této představě odpovídá účelná kombinace technických a přírodě blízkých opatření, využívající také přirozených mechanismů omezování vzniku a dopadu povodní [5].

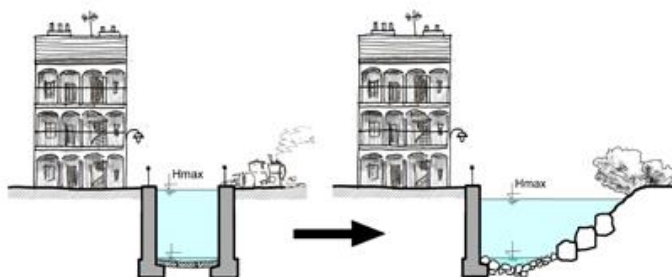
Mezi možnostmi přírodě blízkých opatření patří:

- Revitalizace dosud technicky upravených vodních toků ve volné krajině za účelem zpomalení postupu a koncentrace povodňových vln a podpory transformačních schopností krajiny při povodňových rozlivech do údolních niv.
- Rozšiřování území umožňujících rozlivy povodní. Pokud například technická úprava v minulosti vytvořila nevhodně úzký povodňový koridor přisazením ochranných hrází těsně k říčnímu korytu, může dojít k obnovení šířky koridoru odsazením hrází, resp. postavením hrází nových, dál od vodního toku. Některé hráze, které neochraňují sídla, ale chránily zemědělskou půdu před častějším zaplavováním menšími povodněmi, a tím omezovaly i rozlivy větších povodní do niv, mohou být zcela odstraněny.

- Zadržování povodňových objemů v soustavách terénních depresí, jako jsou vhodně upravené jámy po těžbě písků a štěrků, využití přirozeného průběhu terénu, atd.
- Rozvolňování koryt v intravilánech do přírodě blízkých tvarů. Toto řešení však často naráží na majetkoprávní problémy a výrazně omezené prostory podél toků.
- Převádění povodňových průtoků obtokovými ochrannými koryty přírodního charakteru (povodňové bypassy).
- Odstraňování nebo úprava jezů a stupňů, které působí nevhodné vzdouvání povodňových průtoků (a zároveň působí jako migrační překážky). V některých případech mohou negativně ovlivňovat splaveninový režim úpravou přirozené spádnosti.
- Doplnková a kompenzační revitalizační opatření, která zlepšují ekologické vyznění protipovodňových opatření technického rázu [5].



*Obr. 3: Fotka před a po revitalizaci kynety v povodňovém ochranném korytu v Landshutu [4]*



*Obr. 4: Částečné rozvolnění v intravilánu [5]*

### **3.1.4. Návrh úpravy toku**

Před zahájením prací na projektu úpravy toku je třeba shromáždit všechny potřebné, a to co nejpodrobnější, podklady a údaje o celém vodním toku a upravovaném úseku, o jeho okolí a oprávněné požadavky na úpravu.

Jsou to zejména:

- geodetické podklady (situace, podélný profil, příčné a údolní profily),
- hydrologické podklady o toku, jeho přítocích i celém povodí (odtokový součinitel, údaje o pravděpodobnosti překročení m-denních a n-letých průtoků, tvar, průběh a transformace povodňových vln, apod.),
- hydrogeologické a geologické podklady (skladba svrchních vrstev, vazba na zvěteň, režim podzemních vod, charakteristiky dnových a břehových materiálů, apod.),
- údaje o stabilitě současného koryta a složení dna a břehů (křivka zrnitosti),
- údaje o stavu rostlinných a živočišných společenství toku a podél toku,
- údaje o stavu průmyslové, zemědělské a lesní výroby a jejich produkce v povodí toku,
- současný stav a prognóza čistoty povrchové vody,
- údaje o povodňových škodách způsobovaných tokem, soupis ohrožených objektů,
- souhrn a zdůvodnění požadavků kladených na úpravu [2]



## 3.2. Kapacita koryta

### 3.2.1. Návrhový průtok

Velikost návrhového průtoku, na který je třeba koryto nebo jeho část dimenzovat, vyplývá z ekonomické rozvahy, což znamená porovnání možných škod a nákladů na jejich odstranění, s náklady na vybudování ochranných opatření [2].

Proto ochrana velmi cenných pozemků, které dávají značné výnosy, bude řešena na vyšší povodňové průtoky. Do této kategorie pozemků budou patřit chmelnice, vinice, velmi úrodné pozemky. Pro méně výnosné zemědělsky využívané pozemky bude navrhovaná ochrana na nižší  $n$ -leté průtoky [1]. Naopak nejvyšší  $n$ -leté průtoky jsou navrhovány u souvislé výstavby, průmyslu, významné kulturní a liniové stavby.

Zpravidla volíme odděleně návrhový průtok pro kapacitu koryta a návrhový průtok pro odolnost koryta proti deformaci [2].

Tab. 1: Hodnoty návrhového průtoku pro kapacitu koryta dle charakteru okolí toku [2]

Druhy kultury, zastavění	Návrhový průtok
souvislá výstavba, průmysl a významné liniové stavby (dálnice, železnice)	$Q_{50} - Q_{100}$
cenná půda - vinice, sady	$> Q_{20}$
pole - podle pěstěných plodin	$Q_5 - Q_{20}$
louky, lesy	$Q_2 - Q_5$

Tab. 2: Hodnoty návrhového průtoku pro odolnost koryta [2]

Část koryta	Návrhový průtok
dno	
neopevněné	$Q_1 - Q_5$
opevněné	$Q_{20} - Q_{100}$
břeh a bermy	
neopevněné	$Q_5 - Q_{20}$
opevněné	$Q_{20} - Q_{100}$
ochranné hráze	$Q_{100}$

### 3.2.2. Návrh trasy

Návrh trasy úpravy je návrh směrového vedení geometrické střednice dna navrhovaného koryta [1]. Pro návrh vedení trasy upravovaného toku byla odvozena některá základní pravidla [2]:

- navrhovaná trasa má být pokud možno co nejvíce vedena v trase stávající, popř. by se měla blížit přírodnímu charakteru daného typu toku,
- musíme respektovat důležité objekty na toku a podél něj,
- musíme respektovat vstupní a výstupní směr upravovaného úseku toku,

### 3.2.3. Návrh podélného sklonu dna koryta a hloubky koryta

Podélný sklon dna toku má vliv na jak tečné napětí, jimiž proudící voda působí na dno a boky koryta, tak na rychlost proudění, a tím také na stabilitu koryta [1].

Při návrhu podélného sklonu dna musíme respektovat zejména [2]:

- sklon okolního terénu a původního dna koryta,
- podmínky stability říčního dna,
- úroveň hladiny podzemní vody v okolí toku,

Obvykle se navrhuje úprava tak, aby se dno koryta nemuselo opevňovat. Pokud je dno upravovaného toku stabilizováno a ke změně sklonu nevedou zvláštní důvody, doporučuje se volit podélný sklon upraveného koryta blízky původnímu podélnému sklonu. Nejlepším vodítkem při návrhu úpravy by mělo být pozorování na blízkých stabilizovaných úsecích toku [1].

Mezi podélný sklon dna  $i_d$  nemůže být větší než sklon terénu v ose úpravy  $i$ , jeho velikost zpravidla volíme s ohledem na stabilitu dna, tedy aby nebyly překročeny kritické podmínky, při nichž se dno vymílá nebo zanáší. Volíme-li sklon dna nižší než je sklon terénu v ose úpravy, musíme po určité délce vyrovnat vzniklý výškový rozdíl spádovými objekty - stupni, skluzy, jezy [2].

Při výškovém umístění dna se řídíme několika hlavními zásadami:

- při průtocích odpovídajících asi  $Q_{180d}$  má být dosaženo optimální úrovně hladiny podzemní vody v přilehlém území [1],
- 

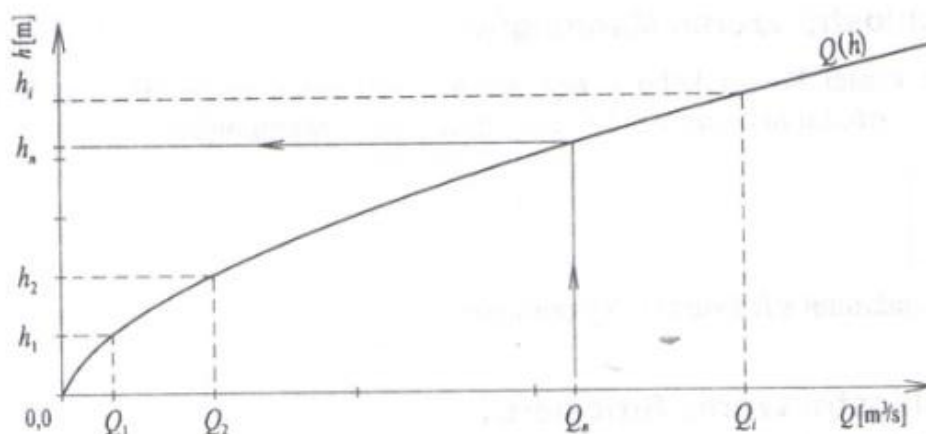
Tab. 3: Úroveň hladiny podzemní vody pod terénem pro různé kultury [2]

Druhy pozemku	louky	pole	sady	lesy
Hloubka optimální	50 - 60	100 - 120	140 - 160	150 - 200
minimální [cm]	20	60	70	100

- v intravilánu závisí výškové umístění na úrovni spodních konstrukcí podlah suterénních místností, na poloze vrchní stavby komunikací, hloubce studní, na kapacitě mostních profilů, které mají zůstat zachovány a na hloubce uložení jejich pilířů,
- nesmí být nepříznivě dotčen provoz vodních děl a zřízení toku, jako jsou odběry vody, průmyslové odpady, zaústění drenáží a kanalizací,
- na splavných tocích musí být zaručena potřebná plavební hloubka, popř. podjezová výška [1].

### 3.2.4. Návrh příčného profilu

Navržený příčný profil vždy posoudíme hydraulickým výpočtem za předpokladu alespoň nerovnoměrného ustáleného proudění. Výsledkem je početní a především grafická měrná křivka koryta (průtoku) [2]. Měrná křivka koryta udává závislost průtoku  $Q$  na hloubce  $h$ . Zvolí se několik (ekvidistatních) poloh hladiny s hloubkami  $h_1, h_2, \dots, h_i$  v daném profilu, spočítají se jim příslušné průtoky  $Q_1, Q_2, \dots, Q_i$  a vynese se závislost  $Q(h)$ . Ze závislosti  $Q(h)$  se pro zadaný průtok  $Q_n$  odečte hledaná hloubka  $h_n$  a provede se kontrola výpočtu  $Q_n$  [3].



Obr. 5: Určení hloubky  $h_n$  ze zadaného průtoku  $Q_n$  pomocí měrné křivky [3]

Vstupními parametry výpočtu jsou navržený podélný sklon dna koryta  $i_d$ , uvažovaný stupeň drsnosti a svahů (popř. průměrný)  $n$  a v případě nerovnoměrného ustáleného proudění také výchozí hladina.

Součinitel drsnosti dna  $n$  pro výpočet uvažujeme zpravidla ze Stricklerova vztahu [2]:

$$n = \frac{d_s^{1/6}}{21,1} \quad (3.1)$$

$$n = \frac{d_{90}^{1/6}}{26} \quad (3.2)$$

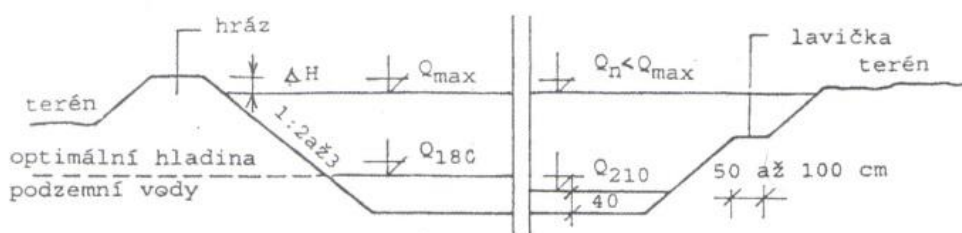
kde:  $d_s$  – efektivní zrno

$d_{90}$  – zrno materiálu dna příslušné kvantilu 90% křivky zrnitosti

Příčný profil musí být navržen tak, aby bezpečně provedl požadovaný průtok  $Q_n$ . Při návrhu koryta na kapacitu  $Q_n < Q_{100}$  nepožadujeme převýšení břehových čar, při návrhu na kapacitu  $Q_n = Q_{100}$  navrhujeme převýšení břehových čar o  $\Delta h \approx 50$  cm nad hladinou  $Q_n$  [2].

Profil upraveného koryta navrhujeme zpravidla lichoběžníkový se sklonem svahů 1:1,5 – 1:4 dle požadavků stability svahů [2].

Z hlediska zanášení koryta jemnými částicemi a jeho následného zarůstání, omezování průtočnosti a zhoršování hygienických poměrů v něm, pak uplatňujeme požadavek, aby  $Q_{210d}$  v upraveném korytě protékal rychlostí  $v_{min} \geq 0,5$  m/s při současné hloubce průtoku alespoň 0,4 m [2].



Obr. 6: Příklad jednoduchého lichoběžníkového profilu [2]

Pro zvýšení kapacity příčného profilu se koryta nejčastěji navrhuje jako lichoběžníkový (jednoduchý, dvojitý a vícenásobný) se sklonem 1:5 – 1:3,5 (4). Pokud délka svahu profilu přesahuje 8 m, je přerušen lavičkou šířky 60 cm [2]. Ke zvýšení kapacity se využívá i zahlobnutí profilu, vznikne tak tzv. kyneta. Umisťuje se zpravidla do středu koryta, nebo se navrhuje jako stěhovavá. Kdy se půdorysné zakřivení volí větší, než zakřivení celého koryta. V obloucích se přimyká ke konkávnímu břehu [1].

### 3.3. Metoda po úsecích

Pro výpočet nerovnoměrného ustáleného proudění v otevřených korytech se využije metody výpočtu po úsecích. Obecné koryta proměnlivého příčného profilu se rozdělí na úseky o délkách  $\Delta L_j$ . V jednotlivých úsecích předpokládáme, že průtočné profily a tedy i rychlosti se mění spojitě z hodnot  $A_i$ ,  $v_i$  v horním profilu na hodnoty  $A_{i+1}$ ,  $v_{i+1}$  v dolním profilu. Průměrný podélný sklon koryta daného úseku je  $i_{0j}$  a celková ztráta energie tohoto úseku  $h_{zj}$ . Pak pro srovnávací rovinu proloženou dnem dolního profilu (ve směru proudění) plyne z Bernoulliho rovnice pro všechna proudová vlákna profilů 1 a 2 [3].

$$i_{0j}\Delta L_j + h_i + \frac{\alpha v_i^2}{2g} = h_{i+1} + \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} + h_{zj} \quad (3.3)$$

kde:  $\alpha$  – Coriolisovo číslo

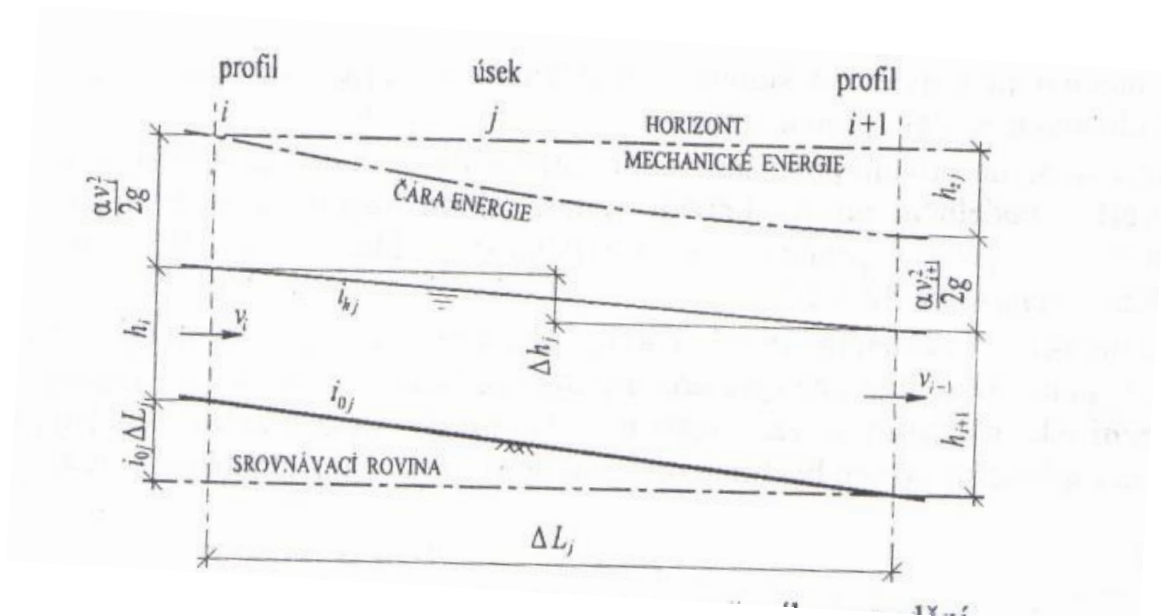
$g$  – gravitační zrychlení

označíme-li rozdíl hladin na úseky  $j$   $\Delta h_j$ :

$$\Delta h_j = i_{0j} \Delta L_j + h_i - h_{i+1} \quad (3.4)$$

obdržíme:

$$\Delta h_j = \frac{\alpha(v_i^2 - v_{i+1}^2)}{2g} + h_{zj} \quad (3.5)$$



Obr. 7: Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění [3]

Celkové ztráty na úseku  $j$  dostaneme jako součet ztrát třením  $h_{tj}$  a ztrát místních  $h_{mj}$ :

$$h_{zj} = h_{tj} + h_{mj} \quad (3.6)$$

Ztráty třením vyjadřujeme z Chézyho rovnice pro úsek  $j$ , který je ohraničen profily  $i$  a  $i+1$ :

$$h_{zt} = i_{pj} \Delta L_j \quad (3.7)$$

kde  $i_{pj}$  je průměrný sklon čáry energie, který se nejčastěji vypočítá dle vztahu:

$$i_{pj} = \frac{Q^2}{A_{pj}^2 C_{pj}^2 R_{pj}} \quad (3.8)$$

kde:  $A_{pj}$  – průměrná hodnota průtočné plochy mezi dvěma profily

$C_{pj}$  – průměrná hodnota Chézyho součinitele mezi dvěma profily

$R_{pj}$  – průměrná hodnota hydraulického poloměru mezi dvěma profily

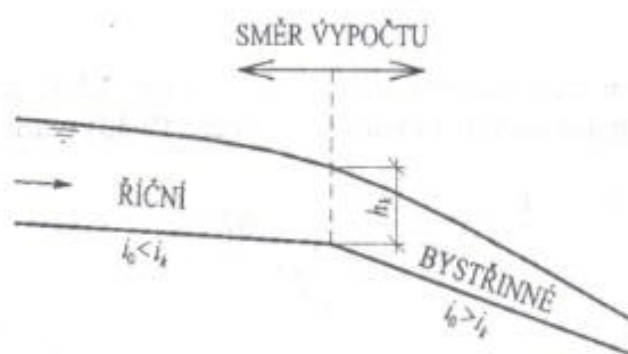
Ztráty místní, které vyjadřují ztráty změnou průřezu, můžeme vyjádřit dle vztahu:

$$h_{mj} = \xi \left| \frac{\alpha v_{i+1}^2 - \alpha v_i^2}{2g} \right| \quad (3.9)$$

kde:  $\xi$  – součinitel místní ztráty

Vlastní řešení začíná vždy v profilu, kde je známá hloubka vody. Při říčním proudění je to např. hloubka vody před jezem, nebo kritická hloubka vody při přechodu z říčního do bystrinného proudění, která se používá i u bystrinného proudění.

Postup při výpočtu průběhu hladiny je pak závislý na režimu proudění, kdy při říčním proudění postupujeme ze zadané hloubky v dolním profilu směrem proti proudu a při bystrinném proudění postupujeme ze zadané hloubky v horním profilu směrem po proudu [3].



Obr. 8: Směr výpočtu při řešení nerovnoměrného proudění metodou po úsecích [3]

### 3.4. Stabilita koryta

Koryto toku je třeba navrhnout tak, aby na dně a svazích nedocházelo při proudění vody k nadměrným deformacím a koryto zůstalo stabilní. Posouzení odolnosti koryta se provádí zpravidla výpočtem pro jeho jednotlivé části [2].

#### 3.4.1. Odolnost dna koryta

Použijeme-li pro porovnání průřezové rychlosti  $v$  v korytě, pak je potřeba vypočítat tzv. vymílací rychlost  $v_v$ , nejčastěji pro přímou trať podle následujících vztahů [2]:

- při průměrné velikosti zrna  $d_s = 0,1 - 1,5$  mm
- 

$$v_v = 3,9h^{0,2} \left( \frac{d_s}{d_{90}} \right)^{0,2} (d_s + 0,0014)^{0,3} \quad (3.10)$$

- při průměrné velikosti zrna na  $d_s = 1,5 - 10$  mm

$$v_v = \frac{\log 8,8}{d_{95}} h \sqrt{\frac{2g(\rho_s - \rho_v)d_s}{1,75\rho_v}} \quad (3.11)$$

kde:  $d_{95}$  – zrno materiálu dna příslušné kvantilu 95% křivky zrnitosti

$\rho_s$  – měrná tíha splavenin

$\rho_v$  – měrná tíha vody

Obě rovnice platí pro lichoběžníkové koryto se šířkou dna  $b \geq 5h$ . Při  $b/h = 5:3$  nutno výsledek násobit součinitelem 0,95, při  $b/h < 3$  součinitelem 0,93.

- při průměrné velikosti zrna  $d_s \geq 10$  mm

$$v_v = 5,5h^{1/6}d_s^{1/3} \quad (3.12)$$

I tato rovnice platí pro lichoběžníkové koryto se šířkou dna  $b \geq 5$ . Pro případ  $b/h < 5$  je možno nahradit hodnotu  $h$  hodnotou hydraulického poloměru  $R$ .

Pro stabilní dno pak platí nerovnost  $v < v_v$  [2].

Pro hodnocení byly použity vztahy:

Neilova rovnice:

$$v_v = \left[ 2,5 \left( \frac{d_s}{h} \right)^{-0,2} \left( \frac{\rho_s - \rho_v}{\rho_v} \right) g * d_s \right]^{0,5} \quad (3.13)$$

Mayer – Peterova rovnice:

$$v_v = 5,5h^{1/6}d_s^{1/3} \quad (3.14)$$

Pohyb unášených částic dna ustává při usazovací rychlosti  $v_u$ , která zpravidla bývá nižší než rychlost vymílací  $v_u \approx 0,7v_v$  [2].

### 3.4.2. Stabilita pomocí tečného napětí

Hodnota kritického tečného napětí znamená stav, při němž zůstávají jednotlivá zrna v klidu, ale je-li tato hodnota překročena, dochází k pohybu splavenin. Kritické tečné napětí je tedy vyjádřeno velikostí zrna a měrnou tíhou splavenin pod vodou.

U nás, stejně jako v řadě dalších evropských zemích se osvědčila rovnice švýcarského autora Mayer – Petera, která vyjadřuje vztah mezi průměrným tečným napětím. V obecném tvaru [1]

$$\rho * \left(\frac{k_d}{k_s}\right)^{\frac{3}{2}} * R_d * i = A(\rho_s - \rho)d_s + \left(\frac{\rho_s}{g}\right)^{\frac{1}{3}}B * g_s^{2/3} \quad (3.15)$$

kde:  $k_d$  – drsnost dna jako celku

$k_s$  – povrchová drsnost

$R_d$  – hydraulický poloměr

$g_s$  – hmotností průtok splavenin

$A, B$  – experimentální součinitelé

Na levé straně M. P. rovnice je průměrná hodnota tečného napětí  $\tau_0$  a na pravé straně je její první člen kritické tečné napětí  $\tau_c$ . Pro nejčastěji uváděné hodnoty  $A=0,047$ ,  $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_v = 1000 \text{ kg/m}^3$  a  $g = 9,81$  je [1]

$$\tau_c = 0,047 * 1650 * 9,81 * d_e = 760,8d_e \quad (3.16)$$



## 4. Popis zájmové lokality

Zájmová lokalita se nachází v obci Třebařov na Českomoravském pomezí, v nadmořské výšce 360 m, 8,5 km severně od Moravské Třebové, okolí obce je kopcovité, lesnaté. V obci je převážná zástavba rodinných domů. Zástavba je rozložena podél místního potoka a silnice II. třídy v délce cca 6 km.

### 4.1. Správní údaje

Třebařovský potok má celkovou délku cca 9,123 km. Délka hodnocené části v intravilánu obce Třebařov činí 4,320 km a spadá do katastrálního území Třebařov. Tok je spravován povodím Moravy, závodem Horní Morava.

### 4.2. Hydrologická data

Hydrologická data byla získána prostřednictvím Českého hydrometeorologického úřadu a to N-leté průtoky. M-denní průtoky pak byly získány interpolací hodnot m-denních průtoků podobného toku ve stejném hydrologickém povodí a to Rychnovským potokem. Ostatní zdroje jsou uvedeny na konci práce.

Tok spadá do povodí IV. řádu. Na obrázku je pak vidět vyznačený zájmový úsek.



Obr. 9: Povodí IV. řádu [6]

- Číslo vodohospodářské mapy – 14-34
- Číslo hydrologického povodí – 4-10-02-0252-0-00
- Úhrn srážek v roce 2015 – 497 mm
- N-leté a m-denní průtoky

*Tab. 4: Hodnoty N-letých a m-denních průtoků*

N-leté průtoky	$Q_1$	$Q_2$	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{20}$	$Q_{50}$	$Q_{100}$
$m^3/s$	2	3,2	5	6,5	8	11	13
M-denní průtoky	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$	$Q_{180d}$	$Q_{270d}$	$Q_{330d}$	$Q_{355d}$	$Q_{364d}$
$m^3/s$	0,26	0,09	0,06	0,03	0,023	0,02	0,006

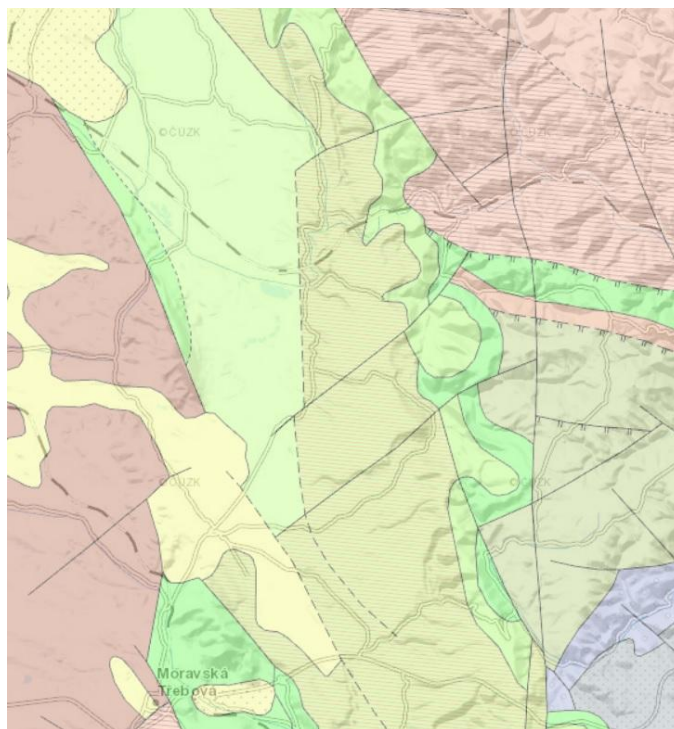
### 4.3. Údaje o povodí

Povodí Třebašovského potoka se rozkládá na ploše 16,08 km<sup>2</sup>. Potok pramení v nadm. výšce 580 m n. m. u obce Petrušov u Černého dolu ve Starém městě. V ř. km 5,067 ústí Třebašovský potok do Třebašovského rybníka. Poté protéká intravilánem obce Třebařov. Po celé délce přitékají do Třebašovského potoka nepojmenované malé potůčky. Třebašovský potok ústí do řeky Moravská Sázava.

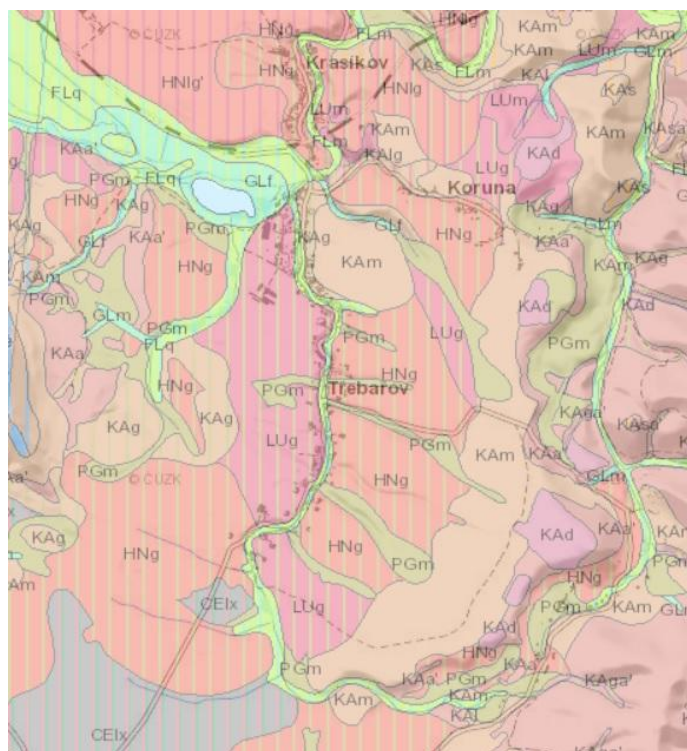
### 4.4. Geologické a pedologické poměry

Třebařov spadá do regionu Českého masivu, do oblasti Svrchní křídly. Z *obr. 10* je patrné, že pravý břeh je výskytem glukonitických, vápenitých a jílovitých pískovců. Levý břeh pak vápenitých jílovců a slínovců.

Po celé délce potoku se vyskytuje fluvizem glejová. V povodí se pak vyskytuje převážně hnědozem oglejená a luvizem oglejená. To je patrné z *obr. 11*.



*Obr. 10 Geologické poměry [7]*



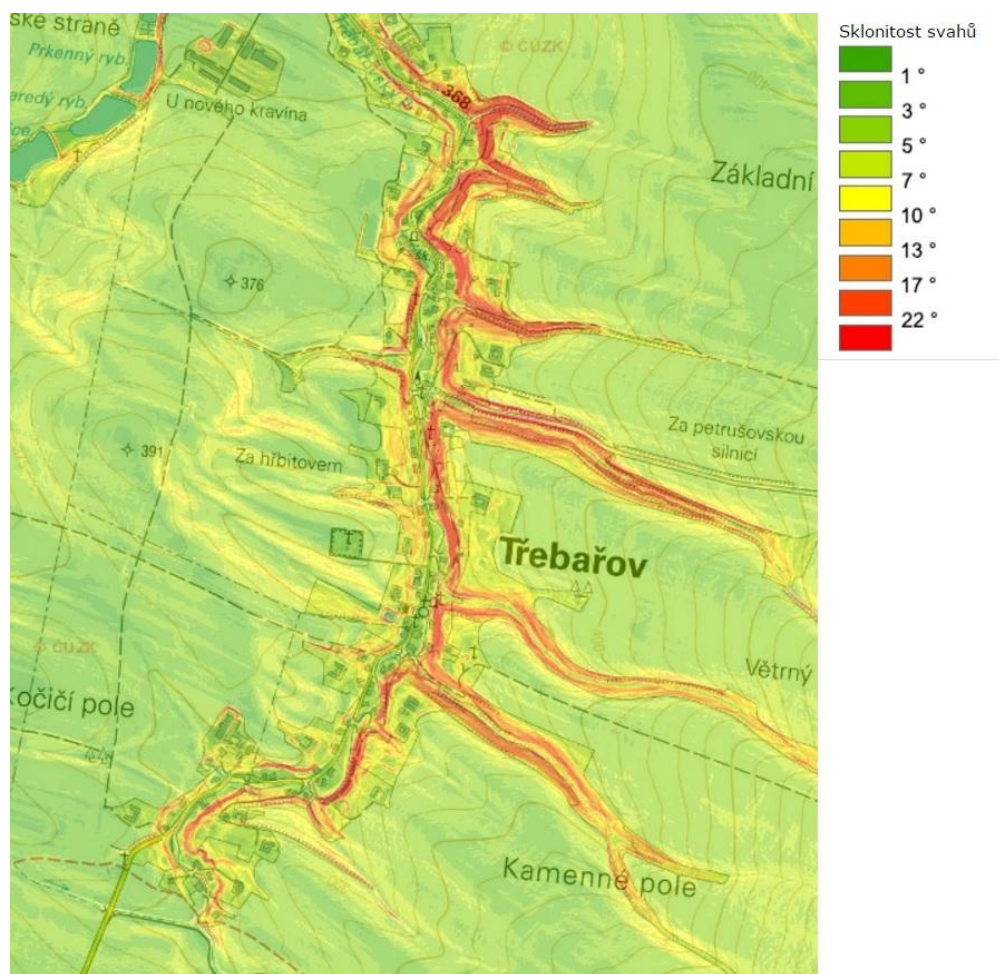
*Obr. 11: Pedologické poměry [7]*

#### **4.5. Sklonitostní poměry**

Sklonitostní poměry kolem Třeborova jsou jako celek přijatelné, nicméně v okolí Třeborova se nacházejí svahy zemědělské půdy se sklonem, který při sadbě širokořádkové plodiny může při dešti erodovat. Erozní smyv má pak význam na zanášení potoka. Příkladem mohou být pak povodně z roku 2013.



Na *obr. 12* jsou patrné sklonitostní poměry. Největší sklony se nacházejí na přítocích do Třebašovského potoka, které vedou mezi zemědělskou půdou a kde by mohlo docházet k přenosu smyvu do Třebašovského potoka.



*Obr. 12: Sklonitostní poměry [8]*

#### 4.6. Údaje o zemědělství, průmyslu, odběru, rekreaci a splavnosti

V obci Třebařov se nachází Zemědělské družstvo vlastníků Třebařov, které se zabývá rostlinnou a živočišnou zemědělskou výrobou, a které hospodaří se zemědělskou půdou. Půda okolo Třebařova je velmi zemědělsky využívána.

Průmysl je zastoupen firmou Roltechnik s.r.o., o které není známo, že by vodu z Třebašovského potoka využívala, či odpadní vodu z výroby vypouštěla do potoka.

Z Třebašovského potoka není znám žádný významný odběr, potok není určen k rekreaci a není evidován jako splavný.

#### 4.7. Hodnocené úseky toku

Zájmová lokalita se nachází na říčním kilometru 0,000 – 4,320 v intravilánu obce Třebařov. Podél toku je situována zástavba, přičemž v některých místech potok těsně protéká kolem pozemků se zástavbou rodinných domů. Podél toku vede také silnice II. třídy. Potok protéká také kolem kostela z 18. století. Na toku se nachází 15 silničních mostů, 16 betonových pěších lávek, 2 dřevěné pěší lávky a 1 ocelová pěší lávka.

##### *Úsek č. 1: ř. km 0,000 – 0,110*

V této části se potok vlévá do Moravské Sázavy a má tvar jednoduchého lichoběžníku, který je opevněn ve dně i z části na březích betonovými bloky. V km 0,093 se nachází památkově chráněný akvadukt, který má tvar velmi jednoduchého lichoběžníku, ne-li miskovitý tvar.



*Obr. 13: Třebařovský akvadukt*



### *Úsek č. 2: ř. km 0,110 – 1,239*

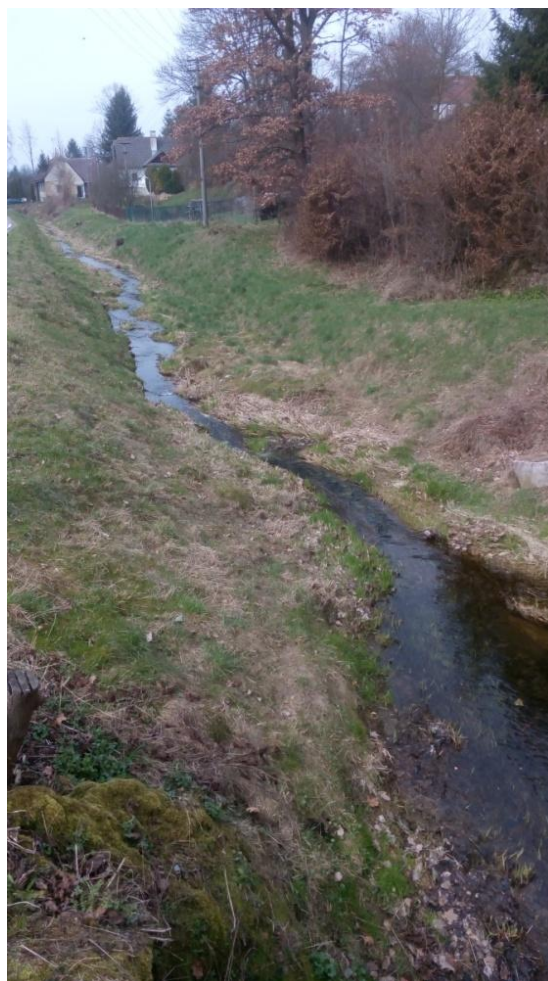
Úsek začíná u akvaduktu a končí u silničního mostu, kdy potok prochází pod hlavní silnicí na druhou stranu. Profil je po celé délce ve tvaru jednoduchého lichoběžníku většinou s opevněným dnem a v některých místech i opevněných břehů betonovými bloky. V úseku nachází 5 silničních mostů a to v ř. km 0,150; ř. km 0,344; ř. km 0,453; ř. km 0,900 a ř. km 1,225 a 7 pěších lávek: ř. km 0,391; ř. km 0,424; ř. km 0,768; ř. km 0,995; ř. km 1,048; ř. km 1,094 a ř. km 1,130.



*Obr. 14: Silniční most na ř. km 1,225, pod kterým potok přechází na druhou stranu silnice*

### *Úsek č. 3: ř. km 1,239 – 2,660*

Úsek začíná za silničním mostem a končí na začátku upravované části toku. Úsek má opět několik silničních mostů (ř. km 1,414; 1,549; 2,016; 2,326; 2,645) a lávek (ř. km 1,872; 1,915; 2,068; 2,407 a 2,491). Část úseku lemuji opěrné zdi přilehlé silnice a to v úseku ř. km 1,457 - 1,530 a 2,621 - 2,698. Profil je jednoduchého lichoběžníkového tvaru.



*Obr. 15: Přirozené zanesení toku*

*Úsek č. 4: ř. km 2,660 – 3,186*

Jedná se o upravovaný úsek. V tomto úseku nachází potok v blízkosti obydlí a také kostela. Na úseku jsou opět mosty (ř. km 2,834; 3,146; 3,186) a lávky (2,903; 2,988; 3,043). Jedná se opět z větší části o lichoběžníkový profil, kdy paty svahů jsou stabilizovány gabiony. I když se jedná o opravovaný úsek, tak je zřejmé zanesení toku. Úprava toku byla provedena podle projektové dokumentace v roce 1997. Tok byl ve dně rozšířen, paty svahu byly stabilizovány gabiony, které v některých úsecích jsou poskládány na sebe a tvoří tak i celý svah koryta. Zkapacitněním v tomto úseku došlo ke zpomalení rychlostí toku a riziku většího zanášení. Tok se však v tomto úseku nejvíce jeví jako výrazně zanesený.

*Úsek č. 5: ř. km 3,168 – 4,320*

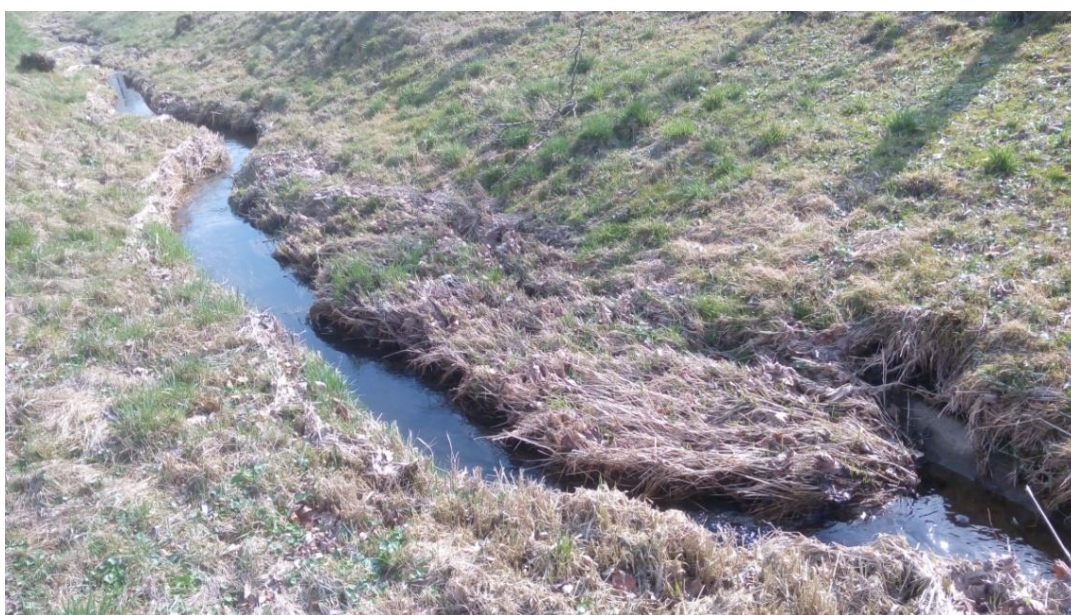
Opět se jedná o "neupravovanou" část, nicméně kromě zanášení je tok v souladu s krajinným rázem. Opět se zde nachází lávky (3,276; 3,977), silniční mosty (3,473; 3,769; 4,099) a opěrná zeď 3,801 - 3,852.



Více obrázků stávajícího stavu (i ve vegetačním období), viz příloha č. III  
*Fotofokumentace.*



*Obr. 16: Zanesení v upravené části toku*



*Obr. 17: Přirozené zanášení koryta*



## 5. Řešení

### 5.1. Modelový výpočet

Do programu bylo zadáno 115 profilů z důvodu délky zkoumaného toku, což je 4,320 km a také z důvodu co největšího přiblížení aktuálního stavu. Profily jsou zadávány ve zjednodušeném tvaru. Ve výpočtu pak není počítáno s příčnými prahy, které byly patrné při obchůzce, ale nebylo možné je přesně zaměřit a chybí dokumentace k těmto prahům. Většina prahů navíc nebyla zřejmě vytvořena podle dokumentace, nýbrž přirozeně nebo uměle obyvateli obce. Ve výpočtu je počítáno se současným viditelným zanášením, které je jak přirozeného původu, tak i po zásahu obyvatel. Pro profily v upravené části byly použity materiály získané z pobočky Šumperk Povodí Moravy.



*Obr. 18: Příklad omezení průtočného profilu způsobené obyvateli obce*

Pro výpočet byly stanoveny následující parametry:

- Drsnost byla definována samostatně pro břehy a dno koryta a to podle Manninga. Pro betonové opevnění bylo uvažováno  $n = 0,02$ , u viditelně degradovaného betonu  $n = 0,025$ . V případě dna byla použita hodnota  $n = 0,03$  a v prostoru břehů pak hodnoty  $n = 0,04 - 0,05$ . Drsnost je uvažována na horní hranici.
- Režim proudění byl uvažován jako smíšený. Důvodem bylo to, že hodnoty Froudeova kritéria dosahovaly v případě říčního režimu v některých úsecích hodnot větších jak 1. To ukazovalo na bystřinné proudění v daném úseku. (viz příloha č. I *Výpočty*)
- Dolní okrajovou podmínkou byl stanoven sklon dna toku a to na hodnotu 8‰. Vzhledem k velkému sklonu a zhloubení koryta

Moravské Sázavy na soutoku nedochází k významnému ovlivnění průtoku v Třebašovském potoce a je tedy možné aplikovat tento typ okrajové podmínky.

- Horní okrajovou podmínku pak tvoří N-leté průtoky ( $Q_1, Q_5, \dots, Q_{100}$ ) pro výpočet kapacity břehů a objektů na toku. Malé průtoky ( $Q_1, Q_{30d}, \dots, Q_{364d}$ ) pak byly použity pro výpočet stability toku resp. ověření míry zanášení a vymílání ve dně koryta.

## 5.2. Zhodnocení kapacity

Z výpočtu byly převzaty související hodnoty pro stanovení kapacity koryta, objektů na toku (např. mostů) a pro posouzení stability, zanášení a vymílání. Kapacita koryta vztažená k břehovým hranám ve většině případů vyhovovala velkým průtokům (viz Tab. 6). Kapacita mostů byla posuzována i s požadavkem normy [9] na převýšení spodní hrany mostovky nejméně o 0,50 m nad hladinou při  $Q_{100}$ . Vzhledem k posuzovanému toku a jeho velikosti nebude brán význačný zřetel na případné zvětšení kapacity mostní konstrukce tak, aby vyhovovala této normě. Kapacita objektů je důležitá zejména u dřevěných lávek, které slouží místním obyvatelům pro překročení potoka a které byly obyvateli postaveny. I když se na toku nachází spousta pěších lávek, nacházejí se tam dvě dřevěné lávky nevyhovující i menším průtokům, což může vést k horším následkům případných povodní.

Tab. 5: Kapacita objektů

Označení mostu/lávky	Popis	Staničení [km]	Spodní hrana mostu levý břeh [m n. m.]	Spodní hrana mostu pravý břeh [m n. m.]	Kapacita levého břehu	Kapacita pravého břehu	Kapacita s bezp. Prostorem pravého břehu	Kapacita s bezp. Prostorem levého břehu
M1	Silniční betonový most	4.0801	368.01	368.21	Q50	>Q100	Q1	Q5
M2	Pěší lávka betonová	3.9801	367.14	367.14	Q10	Q10	<Q1	<Q1
M3	Silniční betonový most	3.7851	365.47	365.47	Q50	Q50	Q2	Q2
M4	Silniční betonový most	3.4601	362.21	362.21	Q20	Q20	Q2	Q2
M5	Pěší lávka betonová	3.2701	360.58	360.58	>Q100	>Q100	Q20	Q20
M6	Silniční betonový most	3.1861	360.01	360.01	>Q100	>Q100	>Q100	>Q100
M7	Silniční betonový most	3.14557	359.39	359.39	>Q100	>Q100	Q20	Q20
M8	Ocelová lávka pěší	3.04077	357.92	357.92	>Q100	>Q100	Q20	Q20
M9	Pěší lávka betonová	2.9846	357.35	357.35	>Q100	>Q100	Q10	Q10
M10	Pěší lávka betonová	2.89928	356.15	356.25	>Q100	>Q100	Q2	Q10
M11	Silniční betonový most	2.83357	355.67	355.67	Q20	Q20	Q2	Q2
M12	Pěší lávka betonová	2.6421	354.74	354.74	>Q100	>Q100	Q20	Q20
M13	Dřevěná pěší lávka	2.4871	352.23	352.23	Q2	Q2	<Q1	<Q1
M14	Pěší lávka betonová	2.4001	351.96	351.96	Q20	Q20	Q2	Q2
M15	Silniční betonový most	2.3231	351.19	351.19	Q50	Q50	Q2	Q2
M16	Pěší lávka betonová	2.0641	348.97	348.97	Q20	Q20	Q2	Q2
M17	Silniční betonový most	2.0101	348.31	348.31	Q50	Q50	Q2	Q2
M18	Pěší lávka betonová	1.9101	347.72	347.45	Q50	Q10	Q5	Q2
M19	Pěší lávka betonová	1.8681	347.76	347.28	>Q100	Q50	Q50	Q2
M20	Pěší lávka betonová	1.7001	345.12	345.12	Q20	Q20	Q1	Q1

M21	Silniční betonový most	1.5451	343.96	343.96	Q20	Q20	Q2	Q2
M22	Silniční betonový most	1.4131	342.98	342.98	>Q100	>Q100	Q20	Q20
M23	Silniční betonový most	1.2201	340.81	340.81	Q50	Q50	Q5	Q5
M24	Pěší lávka betonová	1.1251	339.8	339.8	Q50	Q50	Q2	Q2
M25	Pěší lávka betonová	1.0931	339.8	339.8	>Q100	>Q100	Q20	Q20
M26	Pěší lávka betonová	1.0481	339	339	Q20	Q20	Q1	Q1
M27	Pěší lávka betonová	0.9951	338.7	338.7	Q10	Q10	Q1	Q1
M28	Silniční betonový most	0.9001	338.01	338.01	Q20	Q20	Q1	Q1
M29	Pěší lávka betonová	0.7681	337.51	337.51	>Q100	>Q100	Q10	Q10
M30	Silniční betonový most	0.4551	335.2	335.2	Q20	Q20	Q2	Q2
M31	Dřevěná pěší lávka	0.3911	334.2	334.2	Q2	Q2	<Q1	<Q1
M32	Silniční betonový most	0.3451	334.44	334.44	Q20	Q20	Q2	Q2
M33	Silniční betonový most	0.1501	333.36	333.36	Q10	Q10	<Q1	<Q1

Tab. 6: Příklad profilů vyhovujících i na 100-letý průtok

Staničení [km]	Číslo profilu	Pravý břeh [m n. m.]	Levý břeh [m n. m.]	Kapacita pravého břehu	Kapacita levého břehu
3.272	13	360.58	360.58	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
3.270	14	360.58	360.58	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
3.260	15	360.12	360.18	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
3.188	16	360.21	360.21	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
3.186	17	360.21	360.21	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
3.176	18	359.43	359.53	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
3.159	19	359.46	361.74	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
3.147	20	359.59	359.59	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
3.145	21	359.59	359.59	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
3.133	22	359.11	359.27	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
3.042	23	358.52	358.02	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
3.041	24	358.51	358.21	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
2.986	25	358.08	357.45	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
2.985	26	358.08	357.45	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
2.968	27	358.61	358.61	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>

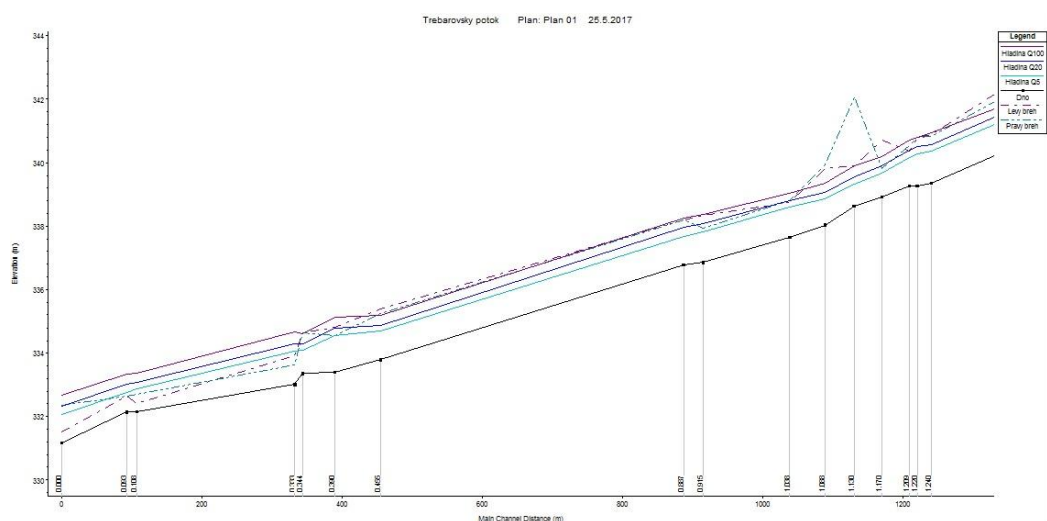
Tab. 7: Příklady nekapacitních profilů

Staničení [km]	Číslo profilu	Pravý břeh [m n. m.]	Levý břeh [m n. m.]	Kapacita pravého břehu	Kapacita levého břehu
0.77	101	337.61	337.61	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
0.768	102	337.61	337.61	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
0.46	103	335.26	335.4	Q <sub>20</sub>	Q <sub>50</sub>
0.455	104	335.26	335.4	>Q <sub>100</sub>	>Q <sub>100</sub>
0.3915	105	334.65	334.81	Q <sub>10</sub>	Q <sub>20</sub>
0.39	106	334.65	334.81	Q <sub>20</sub>	Q <sub>20</sub>

0.348	107	334.64	334.64	$Q_{50}$	$Q_{50}$
0.345	108	334.64	334.64	$>Q_{100}$	$>Q_{100}$
0.344	109	334.64	334.64	$Q_{20}$	$Q_{20}$
0.333	110	334.06	334.15	$Q_{10}$	$Q_{20}$
0.155	111	333.56	333.56	$Q_{20}$	$Q_{20}$
0.15	112	333.56	333.56	$Q_{20}$	$Q_{20}$
0.108	113	333	333.06	$Q_2$	$Q_2$
0.093	114	332.64	332.64	$Q_{10}$	$Q_{10}$
0	115	332.35	332.38	$Q_{20}$	$Q_{20}$

#### Úsek č. 1: ř. km 0,000 – 0,110

Tento úsek se, co se týče kapacity, řadí k velmi nevyhovujícím. Problémem je Třebařovský akvadukt, který nemá odpovídající kapacitu. Akvadukt vyhovuje jen do průtoku  $Q_2$ , což je nevyhovující, pokud uvažujeme s návrhovým průtokem pro tento potok na  $Q_{20}$ . V tomto úseku by měla být uvažována do budoucna úprava na zvýšení kapacity. V tomto úseku se nachází soutok Třebařovského potoka a Moravské Sázavy, kdy při větších průtocích dochází ke vzduť vody. Toto vzduť při průtoku stoleté vody je řádově několik desítek centimetrů.



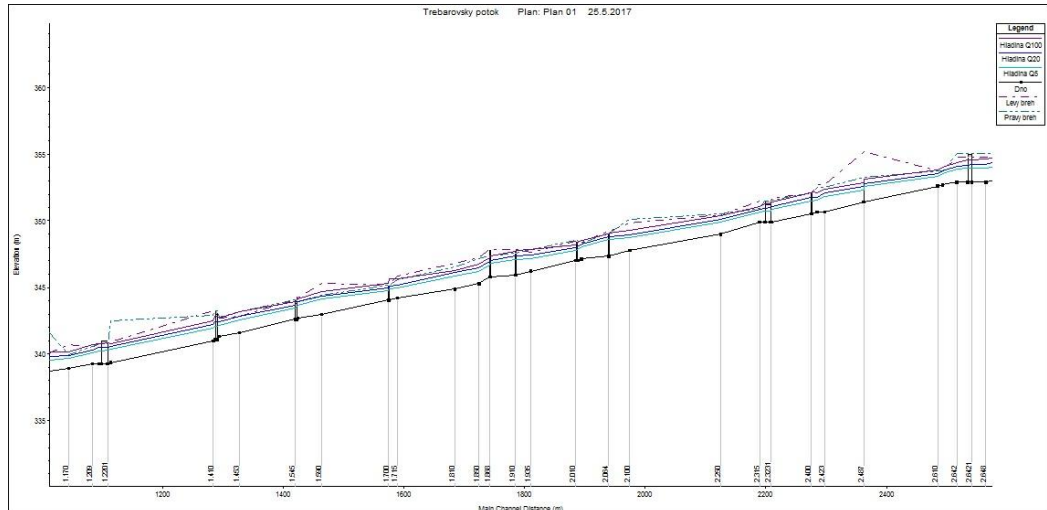
Obr. 19: Podélný profil pro úseky č. 1 a 2

#### Úsek č. 2: ř. km 0,110 – 1,239

Tento úsek je vyhovující ve většině profilů. Výjimkou jsou profily č. 110, 105 a nejvíce nevyhovujícím profilem v tomto úseku je profil č. 94, kdy levý břeh vyhovuje až při průtoku  $Q_5$ . Objektů se na tomto úseku nachází celkem 11. Dva objekty kapacitně nevyhovují na  $Q_{20}$  a jeden objekt (dřevěná pěší lávka) nevyhovuje ani na  $Q_5$ . Tato lávka zřejmě neměla zpracovanou projektovou dokumentaci ani kapacitní výpočet.

### Úsek č. 3: ř. km 1,239 – 2,660

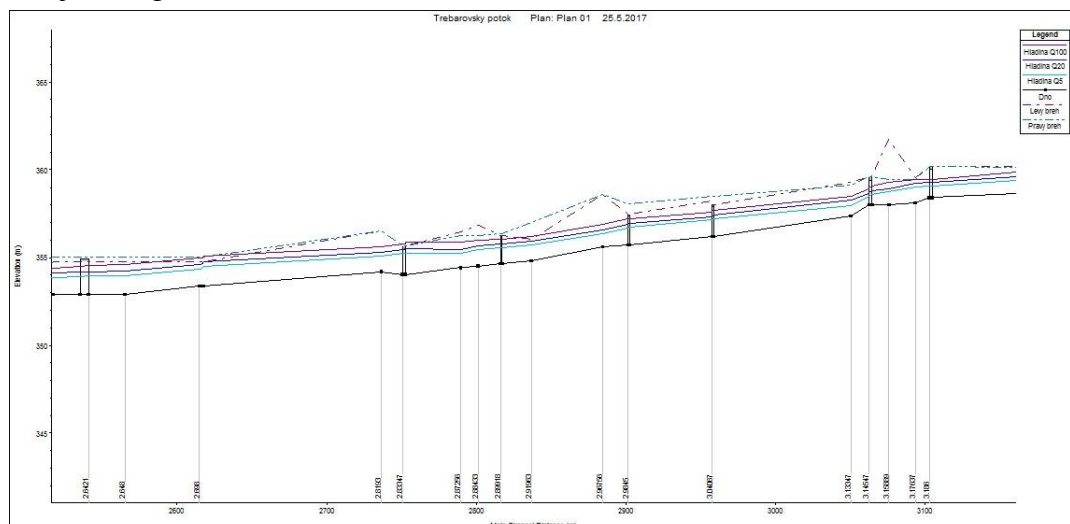
Úsek č. 3 je, až opět na pár profilů, kapacitně vyhovující a to dokonce ve většině na  $Q_{100}$ . V tomto úseku je umístěno 11 objektů, převážně přemostění tvořící přístupovou komunikaci k zástavbě. V tomto úseku se nachází i dřevěná lávka



Obr. 20: Podélný profil pro úsek č. 3

### Úsek č. 4: ř. km 2,660 – 3,186

Úsek č. 4 je opravovaný úsek. Kapacitně by tedy měl vyhovovat, nicméně z Obr. 18: Příklad omezení průtočného profilu způsobené obyvateli obce je vidět částečné omezení kapacity koryta způsobené obyvateli. Bylo by tedy vhodné tyto antropogenní dopady odstranit a obyvatele poučit. Na úseku se nachází 6 objektů, které jsou kapacitně dostatečné.

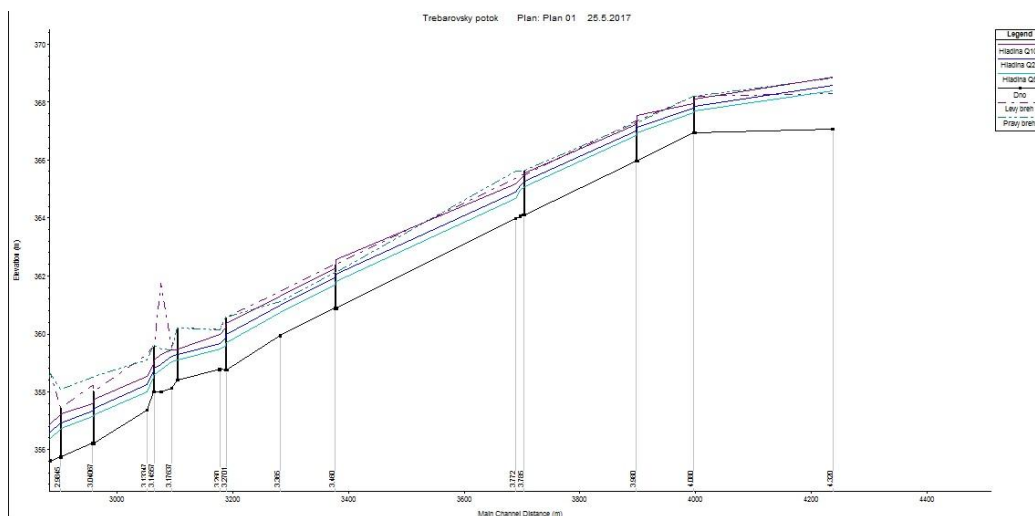


Obr. 21: Podélný profil pro úsek č. 4



### Úsek č. 5: ř. km 3,168 – 4,320

Tento úsek vyhovuje kapacitně bez jediné výjimky. Nachází se na něm 5 objektů, kdy pouze jedna betonová lávka má menší kapacitu (viz Tab. 5: Kapacita objektů).



Obr. 22: Podélný profil pro úsek č. 5

### 5.3. Zhodnocení stability

Pro zhodnocení vymílání a zanášení byly použity dva různé vztahy pro stanovení vymílací resp. zanášecí rychlosti, aby byla lépe zhodnotitelná stabilita, usazování a vymílání. Jedním ze vzorců byl základní vztah podle Mayer-Petera (3.14), který se opírá o hloubku vody a o efektivní zrno. Druhým byl pak vzorec od Neila (3.13), který je komplexnější a zahrnuje i charakteristiky splavenin (měrnou tíhu vody a splavenin). Měrná tíha splavenin byla stanovena na hodnotu  $2750 \text{ kg/m}^3$ .

V obou vzorcích se vyskytuje hodnota  $d_s$  středního popřípadě efektivního zrna. Ta byla získána ze vzorku odebraného přímo na místě a poté stanovena na základě velikosti zrna a hmotnostního zastoupení ve vzorku na hodnotu  $d_s = 0,0128 \text{ m}$ .

Pro výpočet tečného napětí bylo použito porovnání rovnice Mayer-Petera (3.15), kdy výpočetně stanovené tečné napětí (levá strana rovnice) bylo porovnáno s kritickou hodnotou stanovenou ze vztahu 3.16 (pravá strana).

Mezi Neilovou rovnicí a rovnicí M.P. jsou patrné malé rozdíly. Podle Neilovy rovnice dochází k zanášení v některých úsecích dříve, než u M.P. rovnice. Také k vymílání podle Neilova vzorce dochází dříve, tudíž by se dalo říct, že Neilova rovnice je přísnější.

Tab. 8: Příklad hodnocení stability koryta

Staničení [km]	Číslo profilu	Podle tečného a kritického napětí (stabilní pro průtok)	Podle Neilovy rovnice		Podle Mayer - Peterovy rovnice	
			Vymílání (nedochází)	Zanášení (dochází)	Vymílání (nedochází)	Zanášení (dochází)
4.32	1	$>Q_1$	$>Q_1$	$>Q_1$	$>Q_1$	$>Q_1$
4.082	2	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$
4.08	3	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$
3.982	4	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$
3.98	5	$<Q_{364d}$	$Q_{90d}$	$<Q_{364d}$	$Q_{30d}$	$<Q_{364d}$
3.787	6	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$>Q_1$	$Q_{30d}$
3.785	7	$Q_{270d}$	$Q_{30d}$	$Q_{270d}$	$Q_{30d}$	$Q_{270d}$
3.78	8	$Q_{355d}$	$Q_{270d}$	$<Q_{364d}$	$Q_{270d}$	$<Q_{364d}$
3.772	9	$Q_{355d}$	$Q_{90d}$	$Q_{270d}$	$Q_{90d}$	$Q_{355d}$
3.462	10	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$
3.46	11	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{270d}$	$Q_{30d}$	$Q_{270d}$
3.365	12	$Q_{270d}$	$Q_{90d}$	$<Q_{364d}$	$Q_{270d}$	$<Q_{364d}$
3.272	13	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$
3.27	14	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$
3.26	15	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$
3.188	16	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$
3.186	17	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{270d}$	$Q_{30d}$	$Q_{355d}$
3.17637	18	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$
3.15889	19	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$
3.14747	20	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$
3.14547	21	$Q_{270d}$	$Q_{30d}$	$Q_{270d}$	$Q_{90d}$	$Q_{270d}$
3.13347	22	$Q_{270d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$
3.04176	23	$Q_{270d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$
3.04067	24	$Q_{270d}$	$Q_{30d}$	$Q_{270d}$	$Q_{90d}$	$Q_{355d}$
2.9855	25	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$
2.9845	26	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$
2.96756	27	$Q_{270d}$	$Q_{90d}$	$Q_{270d}$	$Q_{90d}$	$Q_{270d}$
2.91963	28	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$
2.90018	29	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$
2.89918	30	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{90d}$	$Q_{30d}$	$Q_{270d}$
2.88433	31	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$	$Q_{30d}$
2.87256	32	$Q_{270d}$	$Q_{90d}$	$Q_{270d}$	$Q_{90d}$	$Q_{355d}$
2.83547	33	$>Q_1$	$>Q_1$	$>Q_1$	$>Q_1$	$>Q_1$

Zhodnocení po úsecích:

- úsek č. 1: úsek je ve většině profilů stabilní pro  $Q_{30d}$ , k zanášení dochází při průtoku  $Q_{270d}$ , vymílání ustává při  $Q_{30d}$

- úsek č. 2: úsek je opět stabilní při Q30d, zanášení je závislé na daném profilu, ve většině profilů dojde k zanášení při Q90d, vymílání ustává při Q30d
- úsek č. 3: úsek je stabilnější při malých průtocích Q270d, k zanášení dochází také při malých průtocích i vymílání
- úsek č. 4: jedná se o upravovanou část toku, stabilní je pro průtok Q30d, ve většině profilů dojde k zanášení při Q90d a vymílání ustává při Q30d
- úsek č. 5: úsek je stabilní pro průtok Q30d, zanášení dochází při průtoku Q90d a vymílání ustává při Q30d

## 6. Zhodnocení a návrhy na zkapacitnění a úpravu toku

### 6.1. Zhodnocení

Z výpočtu je patrné, že břehy ve valné většině profilů vyhovují na návrhovou hodnotu průtoku  $Q_{20}$ . Dokonce většina břehů vyhovuje i více než stoleté vodě, což u tak malého potoka není nutností. Břehy, které kapacitně nevyhovují na  $Q_{20}$ , vyhovují min. na  $Q_5$ , což znamená, že potřebný zásah do úpravy toku není nijak razantní a jedná se jen o místní úpravy. Nejméně kapacitní je profil č. 113, jedná se o Třebašovský akvadukt, který byl vystavěn v roce 1840 a od té doby nebyl nijak upravován a ani v současné době nesmí být nijak upraven, protože se jedná o technickou památku. Tento akvadukt se ale nachází u ústí Třebašovského potoka do Moravské Sázavy, kde je možný případný rozliv, či případné přepadání vody do slepého ramene elektrárny (viz kapitola č. 1).

Objekty na toku a to zejména silniční mosty vyhovují na potřebné průtoky. Nevyhovují však lávky a to hlavně dvě dřevěné pěší lávky, které jsou postaveny místními obyvateli a nesplňují potřebné parametry. Tudíž lze předpokládat, že při případném návrhu na jejich odstranění, by se dříve nebo později lávky opět na toku objevily. Podle ČSN 73 6201 objekty ve větší míře nevyhovují, ale jak bylo popsáno výše, na tuto ČSN nebude brán zřetel z důvodu velikosti tohoto drobného toku.

Tok se dle výpočtu jeví jako stabilní, zejména u malých průtoků, u kterých dochází k zanášení. Naopak při větších průtocích dochází k vymílání (jak je patrné v Příloze č. I *Výpočty*). Nicméně při obchůzce a hlavně z fotodokumentace (v Příloze č. III *Fotodokumentace*) je patrné, že postupné zanášení toku vytvořilo v korytě přirozenou stěhovavou kynetu, která koncentruje nízké průtoky. V případné odtěžení nánosů by pravděpodobně došlo k postupnému obnovení nánosů. K odtěžení nánosů resp. navážek by mělo dojít v místech zanesení vlivem činnosti obyvateli obce (viz *Obr. 16*). Z obrázku je patrné, že tyto nánosy nebyly způsobeny přirozenou cestou. Obrázek ukazuje upravenou část toku, kdy je více jak polovina průtočného profilu pro malé průtoky zaházena hlínou z přilehlého pozemku.



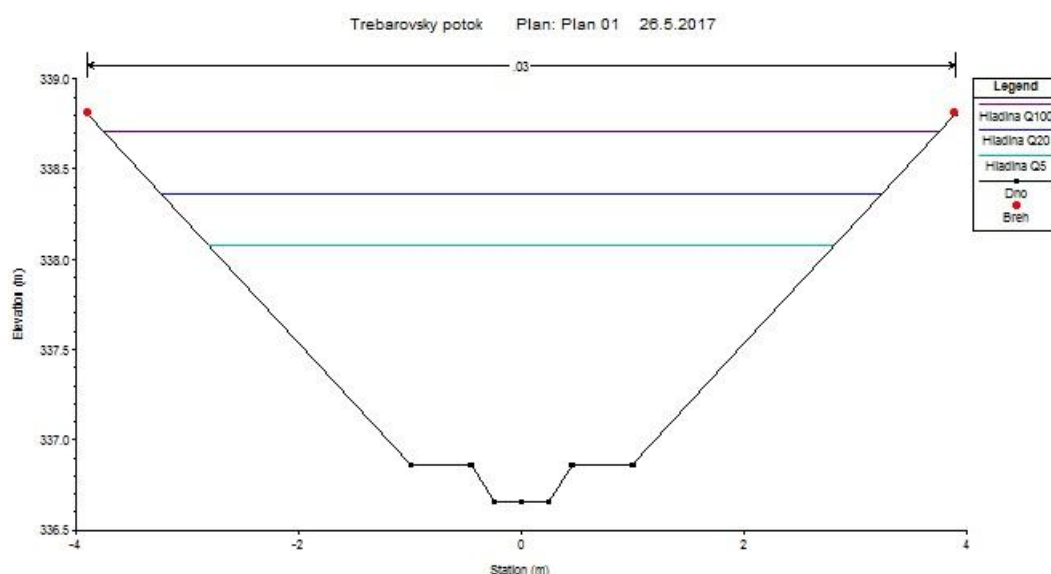
## 6.2. Návrh zkapacitnění a úpravy toku

Jak je patrné z výše uvedeného textu, tok není třeba razantně upravovat. Místní úpravy by měly být malého charakteru, např. terénní úpravy, ohrázování, apod.

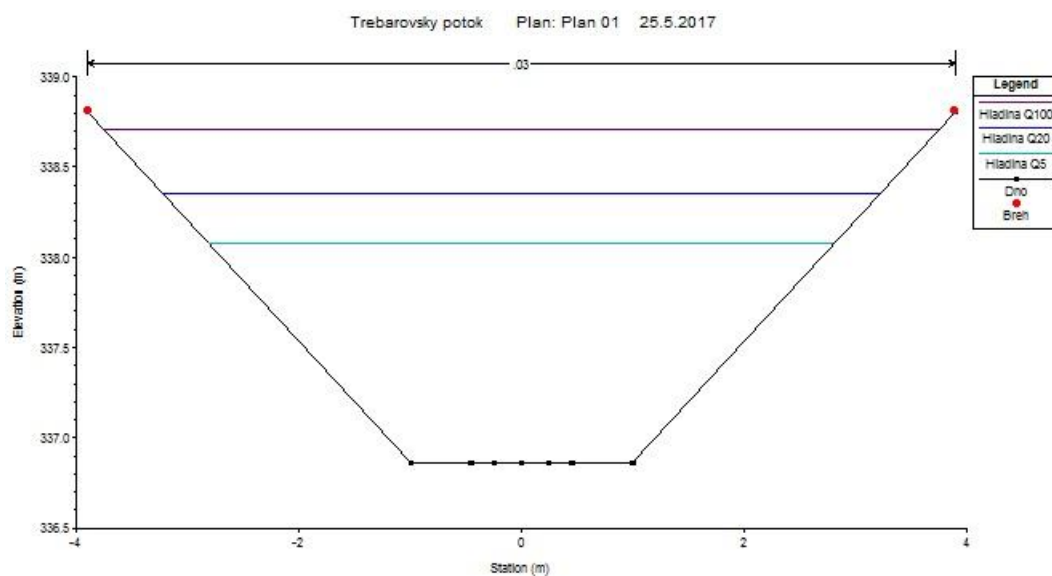
Pro ideový návrh na zkapacitnění byl vybrán úsek v km 0,000 - 1,038. Tento úsek nejvíce nevyhovoval z hlediska kapacity koryta. Nachází se na něm také 7 objektů (mostů) a zmíněný akvadukt, který nepodléhá návrhu na úpravu z důvodu, že se jedná o technickou památku.

Úsek byl zkapacitněn zvětšením příčného profilu (viz Příloha č. II). S ohledem na přirozený charakter toku je v nově navrženém profilu uvažována kyneta, která má koncentrovat nízké průtoky a zlepšit stav z pohledu zanášení. Nově navržený profil bezpečně převede návrhový průtok  $Q_{20}$  i s rezervou. Pro ukázkou, že kyneta neovlivňuje ve velké míře kapacitu toku byla vytvořena i varianta, kdy profil neobsahuje kynetu. Z Obr. 24 a 25 je patrné, že opravdu kyneta nezmenšuje výrazněji kapacitu profilu.

Vegetace podél toku je přirozeného charakteru, v některých místech upravovaná. Po délce toku nikde vegetace výrazně neovlivňuje odtok a charakter toku.



Obr. č. 24: Příčný profil ideového návrhu na zkapacitnění - profil s kynetou



Obr. č. 25: Příčný profil ideového návrhu na zkapacitnění - profil bez kynety

## 7. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zhodnocení stávajícího stavu Třebašovského potoka v úseku 0,000 - 4,320 km. Posouzení obsahovalo zhodnocení stávající kapacity a stability toku.

Výpočet byl proveden v programu HEC – RAS, kde bylo zadáno 115 profilů a tok byl posouzen na velké ( $Q_1 - Q_{100}$ ) i malé průtoky ( $Q_{30d} - Q_{364d}$ ). Velké průtoky byly zadány pro zhodnocení kapacity toku. Bylo zjištěno, že tok bezpečně převede  $Q_{20}$ , akorát na 4 místech by bezpečně převedl  $Q_{10}$ . Nejméně kapacitní je akvadukt, který převede bezpečně  $Q_2$ , ten se nachází i v nejméně kapacitní části toku, na který byl navrhnutý nový profil. Malé průtoky pak hodnotily stability toku. Na toto posouzení bylo využito porovnání tečného a kritického napětí rovnicí od Mayer-Petera. Na vymílání a zanášení byly vybrány dva různé vztahy k většímu posouzení. Výsledky se nakonec od sebe tolik nelišily. Tok se jeví jako stabilní, podle výpočtu je vidět, že dochází sice k zanášení, ale při velkých deštích a zvětšených průtocích dojde k proplachu těchto usazenin. Zanesené usazeniny navíc tvoří přirozenou kynetu, která převádí malé průtoky. S největší pravděpodobností se tok již výrazně nebude zanášet. Mírné zanesení při vytvoření stěhovavé (přírodní) kynety neomezuje kapacitu a není tudíž nutné odtěžovat tento materiál (případné odtěžení by pak bylo otázkou údržby podnikem Povodí Moravy). Problém může nastat při přísunu splavenin z okolí. Tok je v údolí, které obklopují svahy zemědělské půdy a v případě velkého smyvu vlivem silných dešťů by mohlo dojít k přísunu splavenin z okolí.

## 8. Zdroje informací

### 8.1. Použitá literatura

- [1] RAPLÍK, Milan, Pavel VÝBORA a Karel MAREŠ. *Úprava tokov*. Bratislava: Alfa, 1989. Edícia stavebníckej literatúry (Alfa).
- [2] MALEŇÁK, Jaroslav, Otto PODSEDNÍK a Miloslav ŠLEZINGR. *Vodní stavby I: Úpravy toků, Jezy, Vodní cesty a plavby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2165-7
- [3] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika: Modul 01*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-7204-512-9

### 8.2. Internetové zdroje

- [4] Technické úpravy vodních toků. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/technicke-upravy-vodnich-toku/>
- [5] Přírodě blízká protipovodňová opatření. Koalice pro řeky [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.koaliceproreky.cz/temata/prirode-blizka-protipovodnova-opatreni/>
- [6] Mapa: Vodní hospodářství a ochrana vod. Hydroekologický informační systém VÚV TGM [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://heis.vuv.cz/>
- [7] Geovědní mapy. Česká geologická služba [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: [http://mapy.geology.cz/geovedni\\_mapy500/](http://mapy.geology.cz/geovedni_mapy500/)
- [8] Půdní mapa. Česká geologická služba [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://mapy.geology.cz/pudy/>
- [9] ČSN 73 6201. *Projektování mostních objektů*. Český normalizační institut, 1994.

## 9. Seznam použitých zkratk a symbolů

### 9.1. Použité zkratky

ř. km	- říční kilometr
apod.	- a podobně
OV	- odpadní vody
M.P.	- Mayer-Peter

### 9.2. Použité symboly

$Q$	- průtok vody
$Q_1$	- 1-letý průtok
$Q_2$	- 2-letý průtok
$Q_5$	- 5-letý průtok
$Q_{10}$	- 10-letý průtok
$Q_{20}$	- 20-letý průtok
$Q_{50}$	- 50-letý průtok
$Q_{100}$	- 100-letý průtok
$Q_n$	- návrhový průtok
$Q_{30d}$	- 30-ti denní průtok
$Q_{90d}$	- 90-ti denní průtok
$Q_{180d}$	- 180-ti denní průtok
$Q_{270d}$	- 270-ti denní průtok
$Q_{355d}$	- 355-ti denní průtok
$Q_{364d}$	- 364 denní průtok
$h$	- hloubka vody
$Q_{(h)}$	- závislost průtoku na hloubce
$d_s$	- efektivní zrno
$d_{90}$	- zrno materiálu dna příslušné kvantilu 90% křivky zrnitosti
$d_{95}$	- zrno materiálu dna příslušné kvantilu 95% křivky zrnitosti
$n$	- drsnost koryta
$v$	- rychlost vody
$v_v$	- vymílací rychlost
$v_u$	- usazovací rychlost
$A$	- průtočná plocha
$C$	- Chézyho součinitel
$R$	- hydraulický poloměr
$h_{zj}$	- ztráty třením

$h_{mj}$	- ztráty místní
$\alpha$	- Coriolisovo číslo
$\xi$	- součinitel místních ztrát
$g$	- gravitační zrychlení
$k_d$	- drsnost dna
$k_s$	- povrchová drsnost
$\rho_s$	- měrná tíha splavenin
$\rho_v$	- měrná tíha vody

## 10. Seznam obrázků

Obr. 1: Úprava toku ohrázkováním [2]	13
Obr. 2: Úprava toku zvětšení koryta [2]	13
Obr. 3: Fotka před a po revitalizaci kynety v povodňovém ochranném korytu v Landshutu [3]	14
Obr. 4: Částečné rozvolnění v intravilánu [4]	15
Obr. 5: Určení hloubky $h_n$ ze zadaného průtoku $Q_n$ pomocí měrné křivky [5]	18
Obr. 6: Příklad jednoduchého lichoběžníkového profilu [2]	19
Obr. 7: Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění [5]	20
Obr. 8: Směr výpočtu při řešení nerovnoměrného proudění metodou po úsecích [5]	21
Obr. 9: Povodí IV. řádu [6]	23
Obr. 10: Geologické poměry [7]	24
Obr. 11: Pedologické poměry [7]	25
Obr. 12: Sklonitostní poměry [8]	26
Obr. 13: Třebařovský akvadukt	27
Obr. 14: Silniční most na ř. km 1,225, pod kterým potok přechází na druhou stranu silnice	28
Obr. 15: Přirozené zanesení toku	29
Obr. 16: Zanesení v upravené části toku	29
Obr. 17: Přirozené zanášení koryta	29
Obr. 18: Příklad zanášení způsobené obyvateli obce	30
Obr. 19: Podélný profil pro úseky č. 1 a 2	37
Obr. 20: Podélný profil pro úsek č. 3	38
Obr. 21: Podélný profil pro úsek č. 4	38
Obr. 22: Podélný profil pro úsek č. 5	39
Obr. 23: Zrnitostní rozdělení vzorku dna	39
Obr. 24: Příčný profil ideového návrhu na zkapacitnění - profil s kynetou	41
Obr. 25: Příčný profil ideového návrhu na zkapacitnění - profil bez kynety	42

## 11. Seznam tabulek

Tab. 1: Hodnoty návrhového průtoku pro kapacitu koryta dle charakteru okolí toku [2].....	16
Tab. 2: Hodnoty návrhového průtoku pro odolnost koryta [2].....	16
Tab. 3: Úroveň hladiny podzemní vody pod terénem pro různé kultury [2].....	17
Tab. 4: Hodnoty N-letých a m-denních průtoků.....	24
Tab. 5: Kapacita objektů.....	31
Tab. 6: Příklad profilů vyhovujících i na 100-letý průtok.....	32
Tab. 7: Příklad nekapacitních profilů.....	32
Tab. 8: Příklad hodnocení stability koryta.....	33



## **12. Seznam příloh**

Příloha č. 1: Výpočty

Příloha č. 2: Výkresová část:

- I – Situace širších vztahů
- II – Situace
- III – Přehledný podélný profil
- IV – Vybrané příčné profily
- V – Vzorový příčný řez

Příloha č. 3: Fotodokumentace